

大别山地区黄山松和油松树轮宽度的气候意义

郑永宏¹, 张永², 邵雪梅², 尹志勇³, 张津¹

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 美国圣地亚哥大学, 加州 92110)

摘要:本文基于2010年采自大别山地区黄山松、油松树轮资料分别建立了树轮宽度标准年表,利用相关函数检验了年表与附近的麻城气象站1959-2009年月平均最高气温、月平均气温、月平均最低气温和月降水量之间关系,旨在探讨黄山松、油松树轮宽度的气候意义。研究结果显示,平均敏感度、标准差、信噪比等统计量黄山松年表均高于油松年表,表明黄山松年表较油松年表包含更多的气候信息,具有更高的树轮气候学研究价值。黄山松径向生长主要受当年2-7月平均气温限制,任何月份及月份组合降水量对黄山松径向生长的限制作用均不显著;油松径向生长主要受当年5-6月降水总量限制,任何月份及月份组合气温对油松径向生长的限制作用均不显著。研究表明,在中国亚热带暖湿地区,气候要素的年际变化亦可对部分树种径向生长具有较强的限制作用,树木年轮宽度的变化对气候具有指示意义。研究结果将进一步弥补中国亚热带暖湿地区树轮宽度年表的不足,为树轮气候重建研究提供参考和依据。

关键词:树轮气候学;大别山;中国亚热带;黄山松;油松;树轮宽度

1 引言

树轮资料在重建过去气候变化研究中发挥了重要作用,如北半球千年温度的重建^[1-2]、柴达木地区千年降水重建^[3-4]等。然而,并非所有地区、所有树种均适于进行树轮气候学研究,要想充分发挥树轮资料的气候重建价值,其前提是充分了解其树轮气候意义。实际上,不论是全球还是中国,绝大部分树轮研究^[4-7]集中于寒冷、高寒及干旱、半干旱地区,暖湿地区树轮研究尚十分薄弱^[8-9]。这是由于暖湿地区气候较为适宜树木生长,树木年轮宽度变化是否对气候有指示意义尚需进一步证实。因此,有必要开展深入的调查。

在中国亚热带暖湿地区,学者对四川大头茶(*Gordonia acuminata* Chang)^[10]、樟树(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)^[11-12]、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)^[13-14]、黄山松(*Pinus Taiwanese's Hayata*)^[15-17]、柳杉(*Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr.)和金钱松(*Pseudolarix amabilis* (J. Nelson) Rehder)^[17]径向生长与气候要素之间关系进行了研究,证实中

国亚热带地区具备开展树轮研究的潜力。但由于人为活动影响,目前仅少部分研究^[13, 15-16]采集到树龄100年以上样本,多数树龄不足100年,甚至仅20~30年^[14],难以满足树轮气候重建需求。

为加强中国亚热带暖湿地区树轮研究工作,本文以大别山地区为例,采用树轮气候学方法系统、深入地研究黄山松、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)径向生长与气候要素之间的关系,探索其在树轮气候重建中的应用价值。

2 资料和方法

2.1 样本采集及年表建立

大别山位于中国湖北省、河南省和安徽省交界处,介于30°10'~32°30' N, 112°40'~117°10' E之间,西接桐柏山,东为霍山(也称皖山)和张八岭,西段西北-东南走向,东段东北-西南走向,长270 km,一般海拔500~800 m,山地主要部分海拔1500 m左右,是长江与淮河两大水系的分水岭。大别山属于北亚热带温暖湿润季风气候区,气候温和,雨量

收稿日期:2011-07; 修订日期:2011-09.

基金项目:全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB950101);国家自然科学基金项目(40890051, 41101186).

作者简介:郑永宏(1978-),男,博士,主要研究方向为树轮生态学、树轮气候学。E-mail: zhengyh@whu.edu.cn

通讯作者:邵雪梅(1957-),女,研究员,博士生导师,主要研究方向为树轮气候学与气候变化。E-mail: shaoxm@igsrr.ac.cn

充沛(图1)。

本文所用的黄山松(又名台湾松)、油松(又名红皮松、短叶松)树轮资料于2010年8月采自大别山地区3个样点(图2):黄山松样本采自大别山天堂寨哲人峰和杨家坳,采样点海拔高度约为1500 m,其中,哲人峰采集16株树43个样芯,杨家坳采集10株树28个样芯;油松样本采自大别山青苔关水东湾,采样点海拔高度约为879 m,共采集26株树60个样芯。样芯经过固定、打磨、交叉定年、宽度量测等树轮气候学标准流程^[18]预处理。考虑到哲人峰、杨家坳两个采样点相距仅2.4 km且为同一树种,将两个采样点的样芯合并,利用COFECHA^[19]程序进行检验,剔除了与主序列相关较低、树龄较短的样本,共选取24株黄山松共46个样芯进入分析;利用同样方法,水东湾共选取24株油松共48个样芯进入分析。选用负指数函数或线性函数拟合生长趋势,对生长异常的2个黄山松样本选用样条函数拟合生长趋势,之后利用ARSTAN^[20-21]程序以加权平均法分别建立黄山松、油松树轮宽度标准年表。

2.2 气象资料

采样点附件有英山(30°44' N, 115°40' E, 海拔125.9 m)与麻城(31°11' N, 115°01' E, 海拔59 m)2个气象站。由于采样点位置与麻城气象站在纬度上更接近,故本文选用麻城气象站资料进行分析。采用的气候要素是自建站以来(1959-2009年)的月平均最高气温、月平均气温、月平均最低气温和月降水量。

2.3 相关分析

由于黄山松采样点与油松采样点空间距离较近,二者可能含有共同气候信号,因此首先对两个年表共同可靠时段(SSS>0.85)进行了相关分析;之后,将两个年表分别与气候要素进行相关分析,除了分析年表与单个月份气候要素之间的相关关系外,还将气候要素进行了不同的月份组合,分析树木径向生长与气候要素不同月份组合之间的相关关系。

3 结果分析

3.1 年表

表1为年表统计特征及公共区间(1960-2009年)分析结果。黄山松年表和油松年表相比,除一阶自相关系数外,平均敏感度、标准差和信噪比等统计量黄山松年表均大于油松年表。图3为黄山松年表和油松年表,黄山松年表始于1869年,到1889年已有7个样芯,子样本信号强度大于0.85;油松年表始于1883年,到1895年已有11个样芯,子样本信号强度大于0.85。

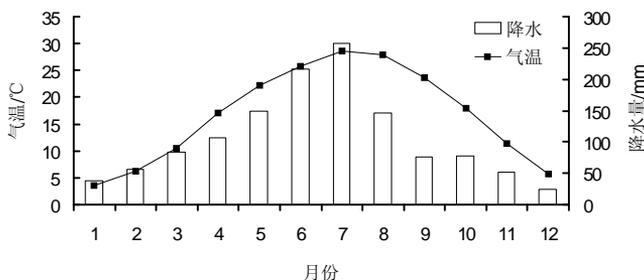


图1 1980-2009年麻城气象站年内气温与降水量

Fig.1 Variations of monthly mean temperature and monthly precipitation at Macheng meteorological station during 1980-2009

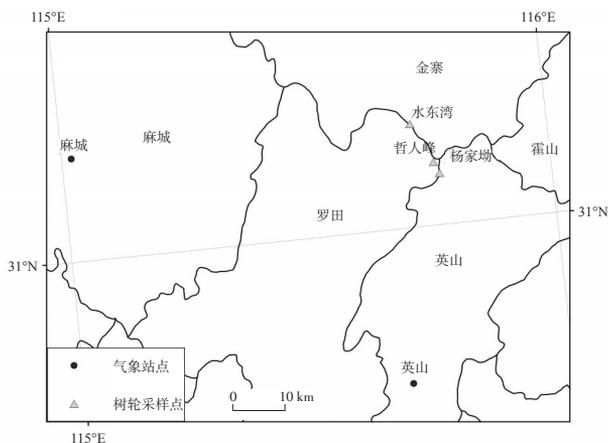


图2 采样点位置图

Fig.2 The locations of sampling sites

表1 年表统计特征及公共区间(1960-2009)分析结果

Tab.1 The statistics of ring-width chronologies and the results of common interval analysis (1960-2009)

树种	起止年份	年表统计量			公共区间统计量					
		MS	SD	AC1	R1	R2	R3	SNR	EPS	PC1
黄山松	1869-2009	0.189	0.260	0.588	0.397	0.736	0.388	25.660	0.962	44.9%
油松	1883-2009	0.157	0.254	0.661	0.336	0.609	0.330	22.788	0.958	36.5%

注:MS为平均敏感度;SD为标准差;AC1为一阶自相关系数;R1为所有序列平均相关系数;R2为树内相关系数;R3为树间相关系数;SNR为信噪比;EPS为样本总体代表性;PC1为第一主成分解释方差量(%)。

3.2 相关分析结果

黄山松年表与油松年表二者共同的可靠区间(1895-2009年)相关系数为0.218,且在统计上显著($p < 0.05$),说明这两个树种其径向生长受某些相同环境要素制约。图4为黄山松、油松年表与麻城气象站4种气候要素之间相关分析结果。可见,黄山松年表与月平均最高气温、月平均气温、月平均最低气温的相关程度要高于油松年表,并且这些相关在大多数月份达到0.05的显著水平。黄山松、油松年表与月降水量的相关程度均未达到0.05的显著性水平。

基于黄山松、油松年表与麻城气象站4种气候要素相关分析结果,将气候要素进行了多种月份组合。图5、图6分别为黄山松、油松年表与气候要素的相关分析结果:图5结果显示,黄山松年表与月平均最高气温、月平均气温、月平均最低气温多数月份组合之间具有较高的相关系数,其中与2-7月平均气温以及2-4月平均最高气温相关最高,分别

达到0.68和0.69,与冬季气候要素组合的相关较低,但与月平均最低气温的相关在冬季高于其它气温变量,与降水量的相关均达不到0.05的显著性水平;图6结果显示,油松年表与月平均最低气温的

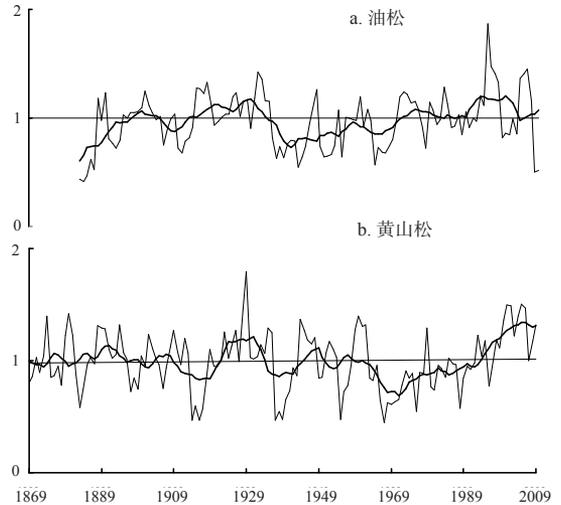


图3 树轮宽度标准年表

Fig.3 Standard tree-ring width chronologies

		p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
黄山松	Tmax	•	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●
	Tem	•	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●
	Tmin	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Pre	•	•	○	○	•	•	○	•	•	○	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○	○	○	○	○
油松	Tmax	●	○	○	●	•	○	•	•	○	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○	○	○	○	○	○
	Tem	●	•	○	●	•	•	•	•	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Tmin	●	●	○	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Pre	○	•	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

图4 树轮宽度标准年表与麻城气象站气候要素相关分析结果

Fig.4 Correlation analysis results of standard ring-width chronologies and climate variables

at Macheng meteorological station

注:Tmax代表月平均最高气温, Tem代表月平均气温, Tmin代表月平均最低气温, Pre代表月降水量, p代表上年, 其后数字代表对应月份。阴影代表达到0.05的显著性水平。实心圆与空心圆分别代表正相关与负相关。

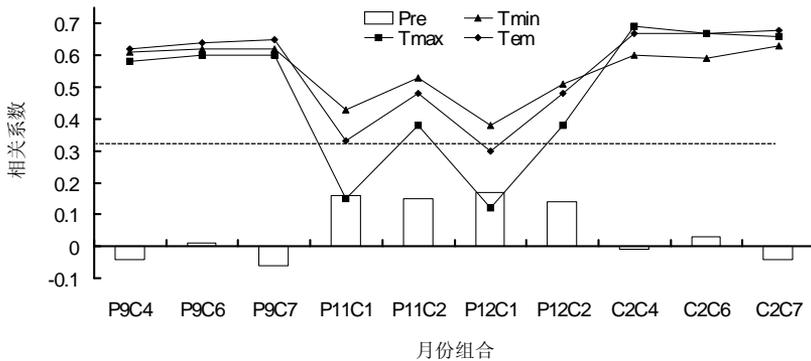


图5 黄山松年表与气候要素月份组合相关分析结果

Fig.5 Correlation analysis results of Huangshan Pine chronology and seasonal climate variables

注:虚线代表达到0.05显著性水平, P代表上年, C代表当年, 其后数字代表对应月份, 下同。

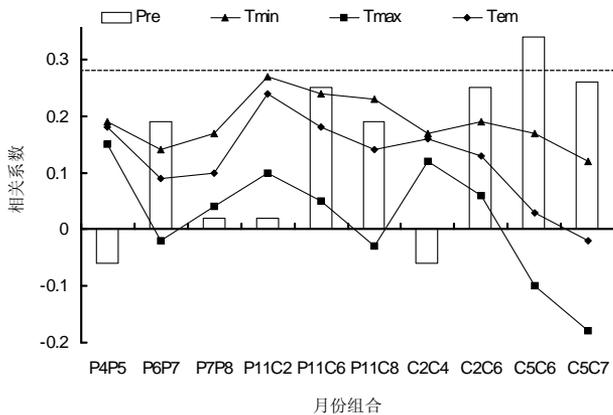


图6 油松年表与气候要素月份组合相关分析结果

Fig.6 Correlation analysis results of Chinese Pine chronology and seasonal climate variables

相关在所有月份组合均高于其他气温变量,但仍不能达到0.05的显著水平,而与生长季当年5-6月降水总量的相关达则到了0.05的显著性水平。

4 讨论

本文研究发现,黄山松年表比油松年表具有更高的平均敏感度、标准差和样本总体代表性,黄山松年表质量优于油松年表。由于采样点海拔高度差异,我们尚不能认为整个大别山地区黄山松树轮年表质量一定优于油松年表,但这很可能意味着在暖湿气候条件下,在较高海拔采集样本有助于建立高质量年表。本文黄山松、油松采样点地处亚热带地区,与地处暖温带河南伏牛山研究^[22]相比,除平均敏感度较低外,标准差和信噪比均较高,这说明在亚热带暖湿气候条件下通过合理的采样也能够建立高质量年表。

研究亦发现,尽管采样区属暖湿气候,但树轮宽度变化与气候要素之间亦具有密切关系,先前研究也证实了这个结果,如,邢秋茹等^[12]研究发现广东阳春现代樟树树轮宽度变化与生长季当年秋季(10-11月)降水量呈正相关。王兵等^[11]研究发现江西大岗山林区樟树树轮宽度变化与生长季(3-11月)的月平均气温呈正相关,其中与4、5月平均气温达到了0.05的显著正相关。最近,Shi等^[16]研究发现地处暖湿气候条件下的浙江西天目山和安徽仙寓山黄山松树轮宽度变化与冬季(上年12月至当年3月)平均气温变化呈显著正相关。基于以上分析,我们认为,在中国亚热带暖湿地区基于树轮宽度指

标进行树轮气候学研究具有较好的前景。

与Shi等^[16]认为天目山和仙寓山黄山松主要响应于生长季前冬季平均气温变化不同,本文发现大别山地区黄山松径向生长主要响应于生长季当年2-7月平均气温变化。从气温条件看,本文黄山松采样点(海拔约1500 m)气温比麻城气象站(海拔59 m)气温约低9.36℃(基于0.65℃/100m气温垂直递减率估算),因此2、3月黄山松可能尚处于休眠期,4月开始,气温明显升高,采样点月平均气温约为6℃,树木进入生长期,有关休眠期和生长期气温对树木径向生长的作用已有论述^[23],而到8月,由于进入梅雨之后的伏旱期,降水量明显降低,而此时较高的气温则不利于树木的径向生长。

与黄山松不同,本文油松径向生长与任何月份气候要素的相关关系均不显著,这在黄山松年表和油松年表统计量上亦有所反映,油松年表平均敏感度、标准差和信噪比均低于黄山松年表。与本文黄山松采样点相比,油松采样点海拔较低,这意味着其能够获得较好的热量条件和相对较差的水分条件,气温的限制作用可能减弱而降水的限制作用可能增强,与气候要素相关分析结果也证实了这一推测。基于河南伏牛山的研究^[22]发现油松与5-7月平均最高气温相关系数为-0.63($p < 0.0001$),并认为这缘于此时期较高的气温增加了蒸发量而限制了树木生长。据此推测,5-7月也可能是大别山地区油松最佳生长季。5-6月降水虽然较多(图1),但对油松的径向生长仍有一定的限制作用,7月降水达到全年最高值,此时降水不再是树木径向生长的限制条件。由于本文油松采样点位置较河南伏牛山采样点^[22]偏东南,而中国自西北向东南增加的降水量使得本文油松能获得相对较为充足的水分,水分的限制作用减弱。

造成黄山松、油松径向生长对气候要素响应差异可能有以下2种原因:①可能是树种差异造成的。二者并非同一树种,而不同树种对气候要素的响应机理存在差异^[24],但由于本文所研究的两个树种并非混生,故无法在同一采样点采集两个树种加以验证。②更可能是由于采样点海拔高度不同造成的。一般情况下,随海拔高度增加,降水量增加而气温降低。因此,降水能满足较高海拔黄山松径向生长的需求,但较低的气温却限制了其径向生长。同理,气温条件能满足较低海拔油松径向生长需求,但低海拔相对较少的降水却对油松径向生长

有一定的限制作用。这与先前研究结果^[25-26]具有较好一致性,即在较高海拔采集的树轮资料主要响应气温变化,而在较低海拔采集的树轮资料主要响应降水变化。此外,研究发现,黄山松年表和油松年表存在低度显著相关($r=0.218, p<0.05$),这可能缘于采样点距离较近,某种环境要素对二者具有共同的影响,这有待于今后进一步研究。上述分析表明,黄山松、油松径向生长与气候要素之间的关系具有明确的生理意义,结果可信。

5 结论

本文建立了大别山地区长度超过100年的黄山松年表和油松年表,采用树轮气候学方法对树木径向生长与气候要素之间的关系进行了探讨,得到以下结论:①本文黄山松年表比油松年表具有较高的平均敏感度、标准差、样本总体代表性等统计量,黄山松年表质量优于油松年表。②本文黄山松径向生长主要受2-7月平均气温限制,油松径向生长主要受5-6月降水总量的限制。

由此可见,尽管中国亚热带暖湿地区具有良好的水分热量条件,气候要素的年际变化亦可对部分树种径向生长具有较强限制作用,因而应用树轮气候学原理在这一地区进行树轮气候重建是可行的。

参考文献

- [1] Mann M E, Bradley R S, Hughes M K. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(6): 759-762.
- [2] Briffa K R. Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19(1-5): 87-105.
- [3] Shao X M, Huang L, Liu H B, et al. Reconstruction of precipitation variation from tree rings in recent 1000 years in Delingha, Qinghai. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 2005, 48(7): 939-949.
- [4] Sheppard P R, Tarasov P E, Graumlich L J, et al. Annual precipitation since 515 BC reconstructed from living and fossil juniper growth of northeastern Qinghai Province, China. *Climate Dynamics*, 2004, 23(7-8): 869-881.
- [5] Yin Z Y, Shao X M, Qin N S, et al. Reconstruction of a 1436-year soil moisture and vegetation water use history based on tree-ring widths from Qilian junipers in northeastern Qaidam Basin, northwestern China. *International Journal of Climatology*, 2008, 28(1): 37-53.
- [6] Frank D, Esper J. Temperature reconstructions and comparisons with instrumental data from a tree-ring network for the European Alps. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(11): 1437-1454.
- [7] Esper J, Cook E R, Schweingruber F H. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 2002, 295(5563): 2250-2253.
- [8] Villalba R, Grau H, Boninsegna J, et al. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America. *International Journal of Climatology*, 1998, 18(13): 1463-1478.
- [9] Oliveira J M, Roig F A, Pillar V D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. *Austral Ecology*, 2010, 35(2): 134-147.
- [10] 孙凡, 钟章成. 缙云山四川大头茶树木年轮生长动态与气候因子关系的研究. *应用生态学报*, 1999, 10(2): 151-154.
- [11] 王兵, 高鹏, 郭浩, 等. 江西大岗山林区樟树年轮对气候变化的响应. *应用生态学报*, 2009, 20(1): 71-76.
- [12] 邢秋茹, 刘鸿雁, 孙艳荣, 等. 广东阳春现代樟树树轮宽度变化及其对气候因子的响应. *生态学报*, 2004, 24(9): 2077-2080.
- [13] 陈峰, 袁玉江, 魏文寿, 等. 福建沙县马尾松树轮宽度与夏季亚洲-太平洋涛动指数的关系. *第四纪研究*, 2011, 31(1): 96-103.
- [14] 雷静品, 肖文发, 黄志霖, 等. 三峡库区秭归县不同海拔马尾松径向生长对气候的响应. *林业科学*, 2009, 45(2): 33-39.
- [15] 吴泽民, 黄成林. 黄山松年轮生长和气候的关系. *应用生态学报*, 1999, 10(2): 147-150.
- [16] Shi J F, Cook E R, Lu H Y, et al. Tree-ring based winter temperature reconstruction for the lower reaches of the Yangtze River in southeast China. *Climate Research*, 2010, 41(2): 169-175.
- [17] 夏冰, 贺善安, 邓飞, 等. 西天目山针叶树直径生长与气候变化的关系. *植物资源与环境*, 1995, 4(4): 1-9.
- [18] Cook E R, Kairiukstis L. *Methods of dendrochronology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990: 40-50.
- [19] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 1983, 43: 69-78.
- [20] Cook E R, Peters K. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 1981, 41: 45-53.
- [21] Cleveland W S. Robust locally weighted regression and

smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 1979, 74(368): 829-836.

- [22] 田沁花, 刘禹, 蔡秋芳, 等. 油松树轮记录的过去 134 年伏牛山 5-7 月平均最高温度. *地理学报*, 2009, 64(7): 879-887.
- [23] Wilson R J S, Luckman B H. Dendroclimatic reconstruction of maximum summer temperatures from upper treeline sites in Interior British Columbia, Canada. *Holocene*, 2003, 13(6): 851-861.
- [24] Takahashi K, Azuma H, Yasue K. Effects of climate on

the radial growth of tree species in the upper and lower distribution limits of an altitudinal ecotone on Mount Norikura, central Japan. *Ecological Research*, 2003, 18(5): 549-558.

- [25] LaMarche V C. Paleoclimatic inferences from long tree-ring records. *Science*, 1974, 183(4129): 1043-1048.
- [26] Salzer M W, Kipfmüller K F. Reconstructed temperature and precipitation on a millennial timescale from tree-rings in the Southern Colorado Plateau, USA. *Climatic Change*, 2005, 70(3): 465-487.

Climate Significance of Tree Ring Width of Huangshan Pine and Chinese Pine in the Dabie Mountains

ZHENG Yonghong¹, ZHANG Yong², SHAO Xuemei², YIN Zhiyong³, ZHANG Jin¹

(1. School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Department of Marine Science and Environmental Studies, University of San Diego, CA 92110, USA)

Abstract: Two well-replicated tree-ring width chronologies more than 100 years were developed by using the tree ring cores of Huangshan Pine (*Pinus Taiwanese*'s Hayata) and Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis* Carr.) sampled in 2010 for the Dabie Mountains. The Huangshan Pine chronology covers the period 1869-2009 and the Chinese Pine chronology from 1883 to 2009. To explore the climate significance of tree ring width of Huangshan Pine and Chinese Pine in the study of dendroclimate, correlation analyses were conducted between the two chronologies and four climate variables at Macheng meteorological station. These climate variables include monthly mean maximum temperature, monthly mean temperature, monthly mean minimum temperature and monthly precipitation, all of which cover the period from 1959 to 2009. The results showed that the Huangshan Pine chronology was characterized by a higher mean sensitivity, standard deviation and signal to noise ratio than the Chinese Pine chronology, which might mean that Huangshan Pine has more climate signals and higher value than Chinese Pine in the study of dendroclimate. The results of correlation analysis showed that the radial growth of Huangshan Pine was closely related to the February-July mean temperature, while there was no significant correlation with precipitation in any month or season. In contrast, the radial growth of Chinese Pine was mainly influenced by the total precipitation in the period from May to June, while there was no significant correlation with temperature in any month or season. The radial growth of Huangshan Pine and Chinese Pine shows different responses to climate variables. One reason may be that they are different species, and the other reason may be that they were sampled at different altitudes. Different from the earlier concept, this study showed that the inter-annual changes of climate variables also have a strong restrictive effect on the radial growth of some tree species in warm and humid areas in subtropical China, which showed that the change of tree ring width can be a well indicator for climate change in these areas. The results not only can further supplement the study of tree-ring width chronologies, but also can provide reference for the study of dendroclimate reconstruction in warm and humid areas in subtropical China.

Key words: dendroclimate; Dabie Mountains; subtropical China; Huangshan Pine; Chinese Pine; tree-ring width

本文引用格式:

郑永宏, 张永, 邵雪梅, 等. 大别山地区黄山松和油松树轮宽度的气候意义. *地理科学进展*, 2012, 31(1): 72-77.